

Univerzita Palackého v Olomouci
Přírodovědecká fakulta
Katedra ekologie a životního prostředí



Reakce mnohonožek na světlo

Jiří Bouda

Bakalářská práce

předložená
na Katedře ekologie a životního prostředí
Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci

jako součást požadavků
k získání titulu Bc. v programu
Ekologie a ochrana životního prostředí

Vedoucí práce: doc. RNDr. Mgr. Ivan Hadrián Tuf, Ph.D.

Olomouc 2026

Bouda J. 2026. Reakce mnohonožek na světlo [bakalářská práce]. Katedra ekologie a životního prostředí, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci. 31 pp. Česky.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá vyhodnocením etologických reakcí a prostorové distribuce mnohonožky oblanky sídelní (*Cylindroiulus caeruleocinctus*) v reakci na různé monochromatické a širokospektrální světelné stimuly. V experimentálních pokusech byly sledovány reakce jedinců na bílé, modré a žluté světelné tyčinky v porovnání s neaktivovanou kontrolní variantou. Záznamy byly vyhodnocovány během prvních 3 hodin v 15minutových intervalech měření přímé vzdálenosti jedinců od zdroje světla. Naměřená data byla porovnávána s nulovým modelem náhodného rozmístění pomocí simulací Monte Carlo, vícenásobné Holmovy korekce a permutačního Friedmanova testu. Výsledky prokázaly statisticky významnou a výraznou negativní fototaxi u všech testovaných barevných stimulů (průměrné vzdálenosti 25,35–30,19 cm oproti náhodnému modelu 22,33 cm). Nejsilnější a časově nejkonzistentnější únikovou reakci vyvolalo bílé a modré světlo (statisticky průkazné ve 100 % časových bodů), zatímco u dlouhovlnnějšího žlutého světla byla reakce mírně méně striktní (průkazná v 9 z 12 odečtů). U kontrolní varianty k odtažení nedocházelo. Po úvodní explorativní fázi tvořili jedinci v odlehlých a tmavých rozích arény stabilní agregace v důsledku kombinace negativní fototaxe a pozitivní thigmotaxe. Práce poukazuje na biologický význam vlnové délky světla při smyslové orientaci půdní fauny a na potenciální rizika šíření umělého osvětlení v noci (ALAN) pro epigeická společenstva.

Klíčová slova: agregace, barevné spektrum, *Cylindroiulus caeruleocinctus*, Diplopoda, fototaxe, prostorová distribuce, světelné znečištění, thigmotaxe.

Bouda J. 2026. Millipede reaction on light [bachelor's thesis]. Department of Ecology and Environmental Sciences, Faculty of Science, Palacký University Olomouc. 31 pp. In Czech.

Abstract

This bachelor's thesis evaluates the ethological responses and spatial distribution of the millipede *Cylindroiulus caeruleocinctus* in response to various monochromatic and broad-spectrum light stimuli. Experimental trials examined individual responses to white, blue, and yellow light sticks in comparison with an inactive control variant. Video recordings were evaluated over the first 3 hours at 15-minute intervals by measuring the direct distance of individuals from the light source. The observed data were compared against a null model of random spatial distribution using Monte Carlo simulations, sequential Holm correction, and the permutation Friedman test. The results demonstrated a statistically significant and conserved negative phototaxis across all tested light stimuli (mean distances of 25.35–30.19 cm compared to 22.33 cm in the random model). White and blue light induced the strongest and most temporally consistent avoidance behavior (statistically significant in 100 % of time points), whereas response to longer-wavelength yellow light was slightly less strict (significant in 9 out of 12 readouts). No avoidance occurred in the control variant. Following an initial exploratory phase, individuals formed stable aggregations in distant, dark corners of the arena due to a combination of negative phototaxis and positive thigmotaxis. This study highlights the biological significance of light wavelength in soil fauna orientation and underscores the potential risks of artificial light at night (ALAN) for epigeic communities.

Keywords: aggregation, *Cylindroiulus caeruleocinctus*, Diplopoda, light pollution, light spectrum, phototaxis, spatial distribution, thigmotaxis.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně, pod vedením doc. Tufa a jen za použití citovaných literárních pramenů.

V Olomouci dne 4. 8. 2026

.....

podpis

Obsah

1.	Úvod	1
1.1	Charakteristika a morfologie mnohonožek	1
1.2	Ekologie a biologie mnohonožek	2
1.3	Smyslové orgány a vnímání světla	3
1.4	Mechanismus mimoočního vnímání světla	4
1.5	Behaviorální reakce na podněty: fototaxe, fotokineze a thigmotaxe	4
1.6	Vliv spektrálního složení světla	6
1.7	Bioluminiscence u mnohonožek	7
1.8	Umělé osvětlení v noci	7
1.9	Taxonomická a biologická charakteristika testovaných druhů	8
2.	Cíle práce	10
3.	Materiál a metody	11
3.1	Modelové druhy mnohonožek	11
3.2	Charakteristika lokalit sběru	13
3.3	Experiment s barevným světlem a uspořádání arén	16
3.4	Statistické zpracování dat	17
4.	Výsledky	19
4.1	Kontrolní varianta	19
4.2	Reakce na bílé světlo	20
4.3	Reakce na modré světlo	21
4.4	Reakce na žluté světlo	22
5.	Diskuse	23
5.1	Dominance negativní fototaxe a preference temných zón	23
5.2	Vliv vlnové délky světla na stálost reakce	24
5.3	Stabilita chování v čase a absence časového trendu	24
5.4	Orientační pozorování u plochule	25
6.	Závěr	26
7.	Literatura	27

Seznam obrázků

Obrázek 1: Celkový vzhled oblanky sídelní, zdroj: autor.....	11
Obrázek 2: Celkový vzhled plochule příměstské zdroj: autor	12
Obrázek 3: Sběrná lokalita Olomouc-Bezručovy sady (Zdroj: Zpracováno pomocí QGIS 3.34, podkladová data © Přispěvatelé OpenStreetMap).	13
Obrázek 4: Sběrná lokalita Mrsklesy (Zdroj: Zpracováno pomocí QGIS 3.34, podkladová data © Přispěvatelé OpenStreetMap).....	14
Obrázek 5: Sběrná lokalita Olomouc-Holice Zdroj: Zpracováno pomocí QGIS 3.34, podkladová data © Přispěvatelé OpenStreetMap).	15
Obrázek 6: Mapa sběrné lokality rybníky u Holického lesa Zdroj: Zpracováno v QGIS 3.34, podkladová data © Přispěvatelé OpenStreetMap).	15
Obrázek 7: Celkové uspořádání boxů s kamerovým systémem TP-Link Tapo C520.	16
Obrázek 8: Časový průběh průměrné vzdálenosti mnohonožek od kontrolního neaktivovaného stimulu v rohu arény. Černá přerušovaná čára vyjadřuje očekávanou hodnotu při náhodném rozmístění (22,33" cm"), šedá plocha představuje 95% interval spolehlivosti náhodného modelu.....	19
Obrázek 9: Časový průběh průměrné vzdálenosti mnohonožek od zdroje bílého světelného stimulu. Plná plošná křivka představuje pozorovaný průměr s 95 % intervalem spolehlivosti (mezi pokusy); přerušovaná čára a šedé pásmo značí teoretické náhodné rozmístění.....	20
Obrázek 10: Časový průběh průměrné vzdálenosti mnohonožek od zdroje modrého světelného stimulu. Modrá křivka vyjadřuje pozorovaný průměr s 95% intervalem spolehlivosti; přerušovaná čára značí teoretické náhodné rozmístění.	21
Obrázek 11: Časový průběh průměrné vzdálenosti mnohonožek od zdroje žlutého světelného stimulu. Žlutá křivka zobrazuje pozorovaný průměr $\pm$ 95 % CI ze dvou realizovaných opakování v porovnání s modelem náhodného rozmístění.	22

Poděkování

Rád bych zde vyjádřil své upřímné poděkování vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ivanu H. Tufovi, za jeho cenné rady, věnovaný čas, pomoc s tvorbou grafických výstupů, a především za velkou trpělivost při vedení práce. Rovněž bych chtěl poděkovat své rodině a přátelům za podporu během celého studia a psaní této práce.

V Olomouci, 4. srpna 2026

1. Úvod

1.1 Charakteristika a morfologie mnohonožek

Mnohonožky patří do třídy Diplopoda, která je součástí kmene Arthropoda (členovci). V současné době je popsáno více než 12 000 druhů, přičemž skutečný počet by mohl být podle odhadů výrazně vyšší (Brewer et al. 2012). Mnohonožky jsou globálně rozšířeny po celém světě kromě Antarktidy (Enghoff et al. 2015), přičemž nejvyšší druhová diverzita se vyskytuje v tropických oblastech. Jedná se o převážně suchozemské bezobratlé živočichy, kteří se vyznačují **typicky** protáhlým, **nejčastěji** válcovitým tělem složeným z většího počtu segmentů. Pro mnohonožky je charakteristické, že většina tělních článků nese dva páry končetin (tzv. diplosegmenty), což je jeden z hlavních morfologických znaků odlišujících tuto skupinu od příbuzných stonožek (Chilopoda) (Koch 2015).

Tělo mnohonožek je rozděleno na hlavu a trup tvořený řadou článků. Na hlavě se nachází jeden pár tykadel, které slouží především jako hmatový a čichový orgán (Koch 2015). Tělo mnohonožek je chráněno chitinovou kutikulou, která získává svou specifickou mechanickou pevnost a tvrdost díky vysokému stupni mineralizace a inkorporaci uhličitane vápenatého, který mnohonožky přijímají spolu s potravou (Makarov 2015; David 2015). Centrální nervová soustava mnohonožek je v trupové části tvořena břišním nervovým provazcem. Ten se každém diplosegmentu skládá ze dvou splynutých ganglií, která mohou mít podobu mírných zduření, nebo u některých zástupců splývají do homogenní tkáně (Sombke a Rosenberg 2015). U mnohonožek se dále vyskytuje specifický smyslový orgán, tzv. Tömösváryho orgán. Jeho přesná funkce není dosud zcela objasněna, avšak předpokládá se, že se podílí na vnímání vlhkosti, mikroklimatických vibrací či chemických podnětů z okolního prostředí (Müller a Sombke 2015).

Pro naše zástupce mnohonožek je typické převážně kryptické zbarvení, nejčastěji v odstínech tmavě hnědé až černé (Tuf a Tufová 2008). Některé, zejména tropické druhy, se však vyznačují aposematickým zbarvením, například v jasných kombinacích oranžové, žluté nebo červené barvy. Většina mnohonožek navíc disponuje exokrinními obrannými žlázami, které v případě ohrožení vylučují odpudivé či toxické chemické látky (Shear 2015). Někteří zástupci se v reakci na nebezpečí dokáží svinout do těsné spirály či kuličky (tzv. volvace), což je typické například pro zástupce řádu Glomerida (Tuf et al. 2016).

1.2 Ekologie a biologie mnohonožek

Mnohonožky představují významnou skupinu půdních bezobratlých, která se podílí na klíčových dekompozičních procesech v suchozemských ekosystémech. Jejich hlavní význam spočívá v rozkladu rostlinného opadu, čímž významně přispívají k fungování půdních ekosystémů v mírném i tropickém pásu (David a Handa 2010). Jejich ekologický význam spočívá nejen v přímém příjmu potravy, ale také v jejich vlivu na fyzikální a chemické vlastnosti půdy (David 2014). Z ekologického hlediska patří mnohonožky mezi detritofágy, tedy organismy živící se rozkládající se organickou hmotou. Jejich potravou je především opad listů, tlející rostlinný materiál a další organické zbytky v půdě (Hopkin a Read 1992; David 2014). Příjmem potravy urychlují dekompozici organické hmoty v součinnosti s půdní mikrobiotou a zvyšují provzdušnění půdy, čímž zlepšují celkové půdní podmínky (Stašiov et al. 2014).

Mnohonožky preferují především částečně rozložený opad, což úzce souvisí se stupněm jeho tlení a mírou osídlení půdní mikrobiotou. Bakterie a mikroskopické houby totiž zvyšují dostupnost živin, obsahují vyšší podíl jednoduchých organických sloučenin a opadanku takzvaně předpřipravují, čímž se stává pro mnohonožky stravitelnější a bohatší na dostupné živiny. Významnými faktory ovlivňujícími výběr potravy jsou proto koncentrace dusíku, sacharidů a vlhkost materiálu, spíše než samotný obsah obranných chemických látek, jako jsou fenolické sloučeniny (Hopkin a Read 1992). Tato úzká interakce mezi mnohonožkami a mikroorganismy je následně klíčová pro efektivní průběh celých dekompozičních procesů v půdě (Hopkin a Read 1992). Vliv mnohonožek na rozklad opadu lze rozdělit na přímý a nepřímý. Přímý vliv představuje samotné trávení a látkovou přeměnu pozřené potravy v těle živočicha. Nepřímý vliv je pak dán mechanickým rozmělněním opadu; tím se významně zvětší povrch listového materiálu, který mohou následně snadno kolonizovat a rozkládat půdní bakterie a houby (David 2015). Ve srovnání s jinými půdními organismy, například žížalami, se mechanismus působení mnohonožek liší. Zatímco mnohonožky především fragmentují opad na povrchu a podporují mikrobiální rozklad, žížaly aktivně mísí organickou hmotu s minerální půdou a transportují ji do hlubších vrstev půdního profilu (Timmenga 1987; David 2015).

Výskyt a populační hustota mnohonožek jsou úzce vázány na typ ekosystému, mikroklimatické podmínky a chemické vlastnosti substrátu, jako je půdní pH, přičemž významným faktorem je také přítomnost mrtvého dřeva (Skłodowski a Tracz 2018). Právě mikroklima, zejména stabilní vlhkost, je pro ně zásadní, protože vzhledem ke své

specifické kutikule jsou mnohonožky extrémně citlivé na vysychání. Exoskeleton mnohonožek je totiž značně propustný pro vodu, což je činí vysoce náchylnými k desikaci, a proto mnohonožky mají silnou preferenci pro vlhká a zastíněná stanoviště, jako je opad listů, tlející dřevo nebo prostory pod kůrou a kameny. (Blower 1955; Marx et al. 2012) V nepříznivých, zejména suchých podmínkách vertikálně migrují do hlubších vrstev půdy, kde je vlhkost stabilnější (Hopkin a Read 1992; Blower 1955). Hrozba nadměrné ztráty vody nutí mnohonožky k výraznému snížení aktivity a přechodu do klidového stavu, čímž minimalizují evaporaci a snaží se zachovat si zbývající tělesnou vlhkost (Marx et al. 2012; Webb a Telford 1995).

S touto citlivostí na dehydrataci úzce souvisí i jejich denní rytmus. Světlo patří mezi nejvýznamnější abiotické faktory a pro mnohonožky funguje jako klíčový ekologický signál, který indikuje přítomnost nepříznivých podmínek, a to konkrétně zvýšené riziko vysychání a vysokou expozici vizuálním predátorům (Hopkin a Read 1992; Owens a Lewis 2018). Z tohoto důvodu vykazuje většina druhů striktně noční aktivitu. Během dne se ukrývají v temných mikroúkrytech a aktivně se vyhýbají osvětleným místům. Vyhýbání se světlu je tak základní adaptivní strategií, která zvyšuje pravděpodobnost přežití jedinců v přirozeném prostředí (Owens a Lewis 2018). Z těchto důvodů jsou změny v jejich početnosti nebo druhovém složení přímým odrazem stavu a kvality konkrétního půdního prostředí.

1.3 Smyslové orgány a vnímání světla

Přestože jsou smyslové orgány jednou z nejlépe prostudovaných oblastí biologie mnohonožek, pochopení jejich přesné struktury a funkce v půdním prostředí je stále daleko za úrovní znalostí u hmyzu (Hopkin a Read 1992). Na rozdíl od hmyzu jsou totiž smysly mnohonožek evolučně formovány specifickými podmínkami skrytého způsobu života v půdě. Klíčovou roli při prostorové orientaci hrají tykadla, která nesou specializované receptory pro mechanické, chemické a vlhkostní podněty (Müller a Sombke 2015). Zrakový systém mnohonožek je ve srovnání s hmyzem značně zjednodušený. Vnímání světelných podnětů probíhá prostřednictvím shluku jednoduchých očí, označovaných jako ocelli (očka), která jsou uspořádána v polích na bocích hlavy (Hopkin a Read 1992). Počet těchto oček se mezi jednotlivými taxony značně liší a některé jeskynní druhy jsou v důsledku regresivní evoluce sekundárně zcela slepé (Enghoff et al. 2015).

Anatomická struktura těchto oček neumožňuje mnohonožkám vytvářet obraz okolního prostředí ani provádět komplexní prostorovou analýzu vjemů (Hopkin a Read

1992). Jejich zrakové schopnosti slouží primárně k rozlišování mezi světlem a tmou a k detekci změn intenzity dopadajícího záření. Reakce mnohonožek na světlo jsou proto založeny na kvantitativním vyhodnocení intenzity podnětu. Schopnost vnímat světelné podmínky má pro tyto bezobratlé zásadní význam nejen při okamžitém vyhledávání vhodných vlhkých úkrytů, ale také při synchronizaci jejich vnitřních endogenních biorytmů, kdy světlo slouží jako hlavní synchronizátor začátku a konce období noční pohybové aktivity (Boccardo a Penteado 1995; Cloudsley-Thompson 1960).

1.4 Mechanismus mimoočního vnímání světla

Vzhledem k tomu, že mnozí půdní živočichové mají zrakový aparát redukováný nebo jim zcela chybí – což je charakteristické i pro plochule –, musely se u nich vyvinout alternativní způsoby vnímání světla (Enghoff et al. 2015). Schopnost vnímat světelné podněty bez přítomnosti klasických očí se označuje jako extraokulární fotorecepce či dermální (kožní) světločivost (Steven 1963). Tento mechanismus je u bezobratlých nejčastěji zprostředkován specializovanými buňkami roztroušenými v pokožce nebo podél nervové soustavy, které obsahují specifické světlocitlivé pigmenty na bázi opsinových proteinů (Musio a Santillo 2009).

Tyto receptory mohou být lokalizovány v epiderm, nebo mohou být napojeny přímo na periferní nervovou soustavu a ganglia břišního nervového provazce (Yoshida 1979; Musio a Santillo 2009).

Dermální fotorecepce neumožňuje živočichovi lokalizovat přesný směr světelných paprsků ani tvořit obraz, funguje však jako efektivní varovný systém důležitý pro jeho přežití (Musio a Santillo 2009). Pokud je půdní bezobratlý živočich náhle vystaven světlu (např. při převrácení kamene predátorem nebo při opuštění úkrytu), extraokulární receptory okamžitě vyšlou signál do centrální nervové soustavy. Tento vjem následně spouští obranné mechanismy, nejčastěji v podobě kinetických reakcí (prudkého zrychlení pohybu), které přetrvávají do té doby, než se živočich přesune do oblastí s nižší intenzitou světla, což je klíčové pro jeho přežití (Cloudsley-Thompson 1951; Musio a Santillo 2009).

1.5 Behaviorální reakce na podněty: fototaxe, fotokineze a thigmotaxe

Reakce organismů na světelné podněty představují klíčový etologický mechanismus a lze je na základě orientace pohybu rozdělit do dvou základních kategorií: na fototaxi a fotokinezi (Fraenkel a Gunn 1961). Oba tyto mechanismy se významně podílejí na tom, jakým způsobem živočichové reagují na změny světelných podmínek a jak vyhledávají

optimální mikrostanoviště ve svém prostředí. Fototaxe je definována jako směrově orientovaný pohyb organismu vůči zdroji světla (Fraenkel a Gunn 1961). Pokud je jedinec stimulován k pohybu přímo směrem ke světelnému zdroji, hovoříme o pozitivní fototaxi. Naopak aktivní pohyb v ose od zdroje světla se označuje jako negativní fototaxe. U většiny studovaných druhů mnohonožek byla v literatuře popsána právě negativní fototaxe, která se projevuje stálým vyhledáváním stínu a únikem z osvětlených prostor (Müller 1924 in Cloudsley-Thompson 1951). Vedle orientované fototaxe však mnohonožky vykazují také fotokinezi, což je neorientovaná změna pohybové aktivity vyvolaná intenzitou světelného podnětu (Fraenkel a Gunn 1961). V tomto případě živočich nemění směr cíleně k vymezenému bodu, ale modifikuje rychlost nebo frekvenci své lokomoce. U mnohonožek má tato reakce nejčastěji charakter ortokineze, kdy zvýšená intenzita světla indukuje výrazné zrychlení pohybu (Cloudsley-Thompson 1951; Fraenkel a Gunn 1961). Toto zrychlení zvyšuje pravděpodobnost, že jedinec náhodným pohybem dříve či později opustí nepříznivý, jasně osvětlený prostor. Jakmile organismus vykazující fotokinezi dosáhne tmavé zóny, jeho pohybová aktivita se opět výrazně sníží, což vede k postupnému hromadění jedinců na stinných místech (Fraenkel a Gunn 1961).

Rozlišení mezi čistou fototaxí a fotokinezí bývá v experimentálních podmínkách poměrně obtížné (Fraenkel a Gunn 1961). Vyšší koncentrace jedinců v určité části nádoby totiž může být výsledkem jak aktivní směrové preference, tak pouhým důsledkem kinetických změn v chování. Reakce mnohonožek na světlo navíc není stálá, ale mění se v závislosti na aktuálních podmínkách prostředí (zejména na vlhkosti substrátu) a vnitřním stavu jedince, jako je úroveň hydratace nebo denní fáze aktivity (Cloudsley-Thompson 1951).

Vedle reakcí na světelné podněty hraje v prostorovém chování mnohonožek zásadní roli také thigmotaxe – směrová reakce organismu na mechanické podněty a dotyk s pevným povrchem (Cloudsley-Thompson 1951). U půdních bezobratlých se setkáváme s výraznou pozitivní thigmotaxí, která se projevuje aktivním vyhledáváním těsného kontaktu s okolním substrátem, stěnami či jinými pevnými strukturami, což jim pomáhá nacházet stabilní mikroúkryty (Cloudsley-Thompson 1951). V experimentálním prostředí se tento projev často označuje jako tzv. rohový efekt, kdy se testovaní jedinci pohybují dominantně podél stěn arény a kumulují se v jejích rozích (Fraenkel a Gunn 1961).

Od thigmotaxe je však u mnohonožek nutné striktně odlišit thigmokinezi (respektive její nízkou úroveň – low thigmokinesis). Jak uvádí Cloudsley-Thompson (1951), zatímco thigmotaxe živočicha během pohybu pouze směrově vede, thigmokineze určuje to,

kde se živočich zastaví. Vliv thigmokineze je u mnohonožek natolik dominantní, že při umístění do prázdné hladké nádoby se jedinci v důsledku ortokinetické reakce neustále pohybují, dokud nedosáhnou rozhraní stěn a dna, kde se následně hromadí v těsných shlucích (Cloudsley-Thompson 1951). Tento mechanismus jim v přírodě pomáhá okamžitě zastavit pohyb a vyhledat úkryt pod kůrou či kameny, což je klíčové pro jejich ochranu před predátory a kritickým vyschnutím (Cloudsley-Thompson 1951; Fraenkel a Gunn 1961).

1.6 Vliv spektrálního složení světla

Viditelné světlo tvoří pouze úzkou část elektromagnetického spektra, přičemž jednotlivé monochromatické složky (barvy) se liší svou vlnovou délkou a nesenou energií. Nejkratší vlnové délky v rámci viditelného spektra odpovídají fialovým a modrým odstínům, zatímco nejdelší jsou charakteristické pro světlo oranžové a červené. Různé skupiny bezobratlých živočichů reagují na jednotlivé části světelného spektra velmi odlišně, což je dáno především evoluční adaptací a spektrální citlivostí jejich fotoreceptorů. U mnoha skupin (zejména u hmyzu) byla prokázána zvýšená citlivost na kratší vlnové délky, tedy na modré a ultrafialové záření, které pro ně představují vysoce biologicky účinné podněty ovlivňující orientaci, reprodukci či vyhledávání potravy (Briscoe a Chittka 2001; Owens a Lewis 2018). Naopak dlouhovlnné červené světlo bývá řadou bezobratlých vnímáno s velmi nízkou intenzitou nebo je ignorováno úplně (Owens a Lewis 2018).

Z ekologického hlediska však sluneční svit představuje pro skrytě žijící organismy přímé riziko, a to buď kvůli poškození elektromagnetickým zářením, nebo kvůli vyšší hrozbě predace a dehydratace na otevřeném prostranství. Vyhledávání stinných úkrytů a fotofobní chování jsou proto klíčovými mechanismy pro jejich přežití (Brodrick a Jékely 2023). V případě mnohonožek jsou však informace o vlivu spektrálního složení světla na chování doposud velmi limitované. Většina historických prací se zaměřovala téměř výhradně na intenzitu bílého světla jako hlavního environmentálního faktoru (Cloudsley-Thompson 1951). Preference konkrétních barevných spekter a schopnost rozlišovat vlnové délky světla tak zůstávají u mnohonožek doposud neobjasněny (Boccardo a Penteado 1995). Studium jejich reakcí na různé části světelného spektra proto představuje dosud málo prozkoumanou oblast, která je klíčová pro pochopení jejich smyslové ekologie a prostorového chování. Právě na nedostatek těchto poznatků reaguje tato bakalářská práce, která si klade za cíl experimentálně otestovat a porovnat behaviorální odpověď mnohonožek vůči vybraným barevným podnětům.

1.7 Bioluminiscence u mnohonožek

Bioluminiscence představuje schopnost živých organismů produkovat vlastní viditelné světlo prostřednictvím specifických biochemických reakcí, nejčastěji za účasti enzymu luciferázy a substrátu luciferinu. Tento fascinující jev je široce rozšířen napříč různými skupinami organismů, jako jsou bakterie, mořské houby, koryši či hmyz (Haddock et al. 2010). V evoluci bezobratlých hraje tato schopnost klíčovou roli v rámci vnitrodruhové komunikace, vyhledávání sexuálních partnerů či obraně před predátory (Owens a Lewis 2018). V rámci mnohonožek je však bioluminiscence extrémně vzácná a byla popsána pouze u několika málo zástupců, z nichž nejznámější jsou slepé, v noci svítící mnohožky severoamerického rodu *Molyx*. Tito živočichové emitují stálé, jasně nazelenalé světlo, přičemž přesný evoluční mechanismus a struktura jejich specifického luciferinu zůstávají předmětem probíhajících výzkumů (Marek et al. 2011, 2017).

Z etologického a ekologického hlediska se předpokládá, že luminiscence u těchto mnohonožek plní primárně obrannou funkci. Jelikož jsou tyto zástupci schopni v případě ohrožení produkovat vysoce toxický kyanovodík a další alifatické sloučeniny, permanentní světelné vyzařování slouží jako noční aposematická (výstražná) signalizace pro vizuální noční predátory, jako jsou hlodavci (Marek et al. 2011; Shear 2015). Tento typ varování prokazatelně odrazuje predátory od útoku dříve, než dojde k mechanickému poškození samotného jedince. Existence bioluminiscence u mnohonožek jasně naznačuje, že světelné podněty a jejich vnímání mohou hrát v biologii této skupiny podstatně komplexnější roli, než se v minulosti předpokládalo, což podtrhuje význam dalšího experimentálního studia jejich chování v přítomnosti světla.

1.8 Umělé osvětlení v noci

Umělé osvětlení v noci, v odborné literatuře běžně označované zkratkou ALAN (Artificial Light at Night), představuje jeden z nejvýznamnějších projevů lidské činnosti, který globálně transformuje biosféru (Longcore a Rich 2004). Přirozené střídání dne a noci (světla a tmy) bylo po miliardy let evolučně nejstabilnějším environmentálním faktorem na Zemi. Na tyto přirozené světelné cykly je evolučně fixován endogenní systém cirkadiálních hodin většiny organismů, který reguluje jejich fyziologické procesy, endokrinní funkce i behaviorální vzorce chování (Gaston et al. 2013).

Masivní rozvoj urbanizace a s ním spojená expanze veřejného, průmyslového a komerčního osvětlení vedly k tomu, že více než 99 % populace v Evropě a Spojených státech dnes žije pod uměle rozjasněnou oblohou, přičemž přirozená noční tma je v těchto

oblastech permanentně degradována (Falchi et al. 2016). Z biologického hlediska nepředstavuje problém pouze přímý osvit v blízkosti svítidel, ale také nepřímé rozptýlené světlo v nižší atmosféře, které nad aglomeracemi vytváří permanentní záři, v literatuře označovanou jako světelný dóm či skyglow (Gaston et al. 2013).

Zásadní environmentální aspekt představuje technologická změna spektrálního složení světla. Starší typy nízkotlakých a vysokotlakých sodíkových výbojek emitovaly světlo v úzkém oranžovo-žlutém spektru okolo vlnové délky 590 nm (Gaston et al. 2013). Současný trend ve veřejném osvětlení však směřuje k plošnému zavádění širokospektrálních LED technologií, které generují intenzivní bílé světlo s výrazným podílem modré (krátkovlnné) složky spektra (Elvidge et al. 2010 in Gaston et al. 2013). Tyto moderní LED technologie vykazují extrémně vysokou biologickou účinnost vůči široké škále členovců (van Koppenhagen 2025). Pro ekosystémy a organismy přizpůsobené k životu v absolutní tmě znamená tato spektrální změna drastický selekční tlak, který má potenciál významně zvyšovat negativní ekologické dopady na terestrickou faunu (Navara a Nelson 2007; van Langevelde et al. 2011 in Gaston et al. 2013).

Pro organismy se striktně noční aktivitou a vyvinutou negativní fototaxí, mezi které mnohonožky patří, představuje toto noční osvětlení vážné narušení jejich přirozeného chování (Owens a Lewis 2018). Pokud umělé světlo zasáhne přirozený biotop mnohonožek, dochází k potlačení jejich noční lokomoční aktivity, narušení vyhledávání potravy a dezorientaci při migraci mezi mikrostanovišti. Zvířata jsou tak nucena buď zůstat trvale skrytá, nebo naopak vykazují zvýšenou únikovou aktivitu. To je vystavuje enormnímu fyziologickému stresu, zvyšuje riziko predace vizuálními predátory a v otevřených terénech vede k fatálnímu vysychání jedinců v důsledku nízké vlhkosti okolního vzduchu (Hopkin a Read 1992; Spoelstra et al. 2023).

Experimentální studium toho, jak mnohonožky reagují na konkrétní monochromatické barvy světla, má proto hluboký praktický význam pro pochopení antropogenního tlaku na společenstva epigeického edafonu (Spoelstra et al. 2023; Wood et al. 2026).

1.9 Taxonomická a biologická charakteristika testovaných druhů

Pro správnou interpretaci etologických experimentů je nezbytné porozumět biologickým a anatomickým specifikům testovaných organismů. V rámci tohoto výzkumu byly sledovány dva druhy mnohonožek, které sice sdílejí stejný biotop, avšak fylogeneticky i morfologicky patří do zcela odlišných řádů s diametrálně odlišnou stavbou zrakového aparátu.

Oblanka sídelní (*Cylindroiulus caeruleocinctus*): Tento druh je zástupcem řádu Julida. Vyznačuje se typickým válcovitým, silně kalcifikovaným tělem s kryptickým tmavohnědým až černým zbarvením. Samec je obvykle štíhlejší a dosahuje délky až 32 mm, naopak samice je širší a dosahuje délky až 37 mm. Jedná se o obyvatele povrchových vrstev půdy, lesní hrabanky, zahrad i synantropních stanovišť, kde se často vyskytuje ve vysokých hustotách (Tajovský 2001). Z hlediska recepce elektromagnetického záření disponuje mnohonožka sídelní dobře vyvinutými očními poli složenými z ocelli na bočních stranách hlavy (Hopkin a Read 1992). Tyto zrakové orgány jsou u julidních mnohonožek plně funkční pro vnímání změn intenzity osvětlení a hrají klíčovou úlohu při spouštění negativní fototaxe (Cloudsley-Thompson 1951).

Plochule příměstská (*Polydesmus inconstans*): Tento druh reprezentuje řád Polydesmida. Na rozdíl od předchozího taxonu je jejich tělo nápadně dorzoventrálně zploštělé s lateralizovanými kýly (paratergity). Jedná se o drobnější druh dosahující délky do 16 mm, přičemž tělo má matné, světle hnědé, šedohnědé až bělavé zbarvení (Tajovský 2001). Zásadním biologickým a fyziologickým rozdílem je však skutečnost, že všichni zástupci řádu Polydesmida jsou v důsledku regresivní evoluce sekundárně slepí (Hopkin a Read 1992). Jedinci postrádají jakékoli vizuální receptory (ocelli). Její životní strategie je striktně vázána na tmavé a stabilně vlhké mikroklimatické podmínky pod kůrou padlého dřeva a pod kameny. Obývá lesní biotopy, ale velmi hojně se vyskytuje také na antropogenně ovlivněných stanovištích, jako jsou zahrady, parky či staré sady (Tajovský 2001). Absence klasického zrakového aparátu činí z tohoto druhu ideální modelový organismus pro komparativní analýzu – jakákoli její behaviorální odpověď na světelné podněty totiž musí být zprostředkována mechanismy mimooční (extraokulární) fotorecepce.

2. Cíle práce

Cílem této bakalářské práce je zhodnotit vliv různých barev světelného spektra na prostorové chování a pohybovou aktivitu mnohonožek (se zaměřením na vybrané modelové druhy).

Práce se zaměřuje na porovnání intenzity a stálosti fototaktické odpovědi vůči jednotlivým světelným podnětům v domácích podmínkách. Práce si kladla za cíl zasadit zjištěné reakce do širšího rámce smyslové ekologie půdní fauny a posoudit jejich možný přesah k problematice umělého osvětlení v noci (ALAN).

3. Materiál a metody

3.1 Modelové druhy mnohonožek

V experimentu byli použiti jedinci mnohonožek druhu *Cylindroiulus caeruleocinctus* (oblanka sídelní, obr. 1) a *Polydesmus inconstans* (plochule příměstská, obr. 2). Vzhledem k vyšší dostupnosti a početnosti v jarním období byl jako hlavní modelový organismus zvolena oblanka, zatímco plochule byla využita pouze jako doplňkový druh.



Obrázek 1: Celkový vzhled oblanky sídelní, zdroj: autor.

Testování jedinci byli sbíráni v průběhu března a dubna. Celkem bylo odchyceno přes 300 oblank. Odchyt jedinců v terénu probíhal formou ručního sběru. Pozornost byla zaměřena především na svrchní vrstvu tlejícího listí, kde se tyto živočichové přirozeně krmí. Dále byly kontrolovány denní úkryty pod volně ležícími kameny, cihlami či zahradním materiálem, kde se mnohonožky schovávají před světlem a suchem. V neposlední řadě vyhledávání zahrnovalo kontrolu starých padlých kmenů a pařezů, konkrétně prostorů pod uvolněnou kůrou a uvnitř tlejícího dřeva. Aby se předešlo útěku jedinců,

jejich poškození a velkému stresu během přepravy do laboratoře, byla zvířata bezprostředně po odchytu umisťována do plastových boxů. Tyto boxy měli vyvrtané díry, aby byl zajištěn přístup vzduchu, ale zároveň se zamezilo úniku i těch nejmenších jedinců. Dno boxu pokrývala vrstva vlhkého přirozeného substrátu ze směsi rašeliny a listí odebraného přímo na místě nálezu. Tento podklad umožňoval jedincům se zahrabat, což je chránilo před otřesy při manipulaci s boxem a bránilo vyschnutí.



Obrázek 2: Celkový vzhled plochule příměstské zdroj: autor

Domácí chov následně probíhal ve skleněném teráriu o rozměrech 50×30×35 cm. Podmínky v chovném zařízení byly v maximální možné míře přizpůsobeny přirozenému biotopu těchto bezobratlých. Substrát tvořila směs listové hrabanky a rašeliny, která umožňovala snadné udržování optimální vlhkosti. Jako úkryty byla do terária umístěna stromová kůra a kameny. Potrava se skládala z tlejícího listí, mrtvého dřeva a čerstvé zeleniny či ovoce. Krmná dávka byla pravidelně obměňována, aby se zamezilo rozvoji plísní v substrátu. Vlhkost vzduchu se stabilně pohybovala v rozmezí 50–70 % a byla monitorována digitálním vlhkoměrem. Teplota v místnosti byla udržována na hodnotách 18–20 °C a terárium bylo vystaveno přirozenému světelnému cyklu.

3.2 Charakteristika lokalit sběru

Terénní sběr biologického materiálu probíhal v průběhu měsíců března a dubna. Lokalizace odběrových míst byla zvolena tak, aby postihla jak městské fragmentované biotopy vysoce ovlivněné antropogenní činností, tak stabilnější přirozené mimoměstské lesní ekosystémy a přechodné ekotony v blízkosti vodních ploch v širším okolí Olomouce. Celkem byl odchyt realizován na čtyřech lokalitách:

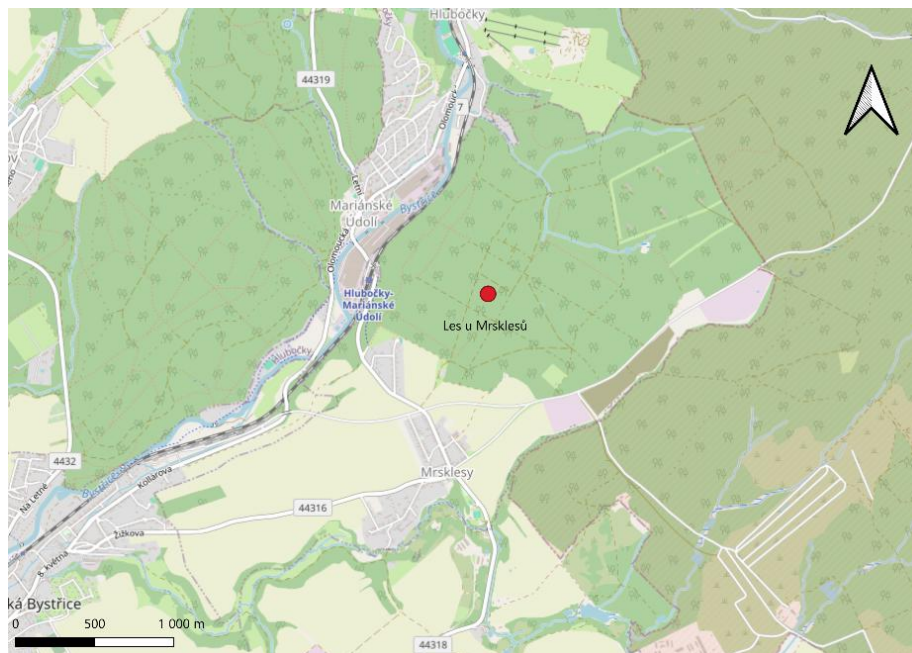
Bezručovy sady (Olomouc; 49°35'32.6" N, 17°15'22.2" E): Jedná se o historický městský park (lesopark) situovaný v nadmořské výšce cca 221 m n. m., který je z ekologického hlediska výrazně ovlivněn blízkostí Mlýnského potoka (obr. 3) a přítomností listnatých dřevin jako jsou javory nebo jasany. Park vykazuje místy akumulaci listového opadu v podzimním a zimním období, což saprofágní makrofauně poskytuje stabilní potravní nabídku. Díky členité topografii (přítomnost historického kamenného opevnění a antropogenních kamenných prvků) a vysoké relativní vlhkosti vzduchu v blízkosti toku lokalita nabízí optimální spektrum stinných a vlhkých mikrohabitatů vhodných pro denní úkryty cílových organismů.



Obrázek 3: Sběrná lokalita Olomouc-Bezručovy sady (Zdroj: Zpracováno pomocí QGIS 3.34, podkladová data © Přispěvatelé OpenStreetMap).

Les u Mrsklesů (49°36'50.2" N, 17°24'24.7" E): Sběrná lokalita se nachází na úpatí Oderských vrchů v katastrálním území Mrsklesy (nadmořská výška cca 320–350 m n. m., obr. 4). Z ekologického hlediska se jedná o stabilní, zapojený smíšený les s přirozeným zastoupením listnatých i jehličnatých dřevin. Charakteristickým znakem biotopu je silně vyvinuté opadankové patro, které představuje bohatou potravní nabídku pro saprofágní

půdní makrofaunu a zajišťuje stabilní retenci vlhkosti. Podložní substrát vykazuje mírnou skeletovitost s přítomností volných úlomků matečné horniny na půdním povrchu, což odpovídá charakteru zdejších kambizemí na kulmském podloží drob a břidlic (ČGS 2012). Tyto edafické a mikroklimatické faktory (stálá vlhkost v opadance, absence přímého slunečního osvětlení v podrostu a dostatek úkrytů pod volnými kameny) vytvářejí optimální podmínky pro výskyt a sběr modelových jedinců.

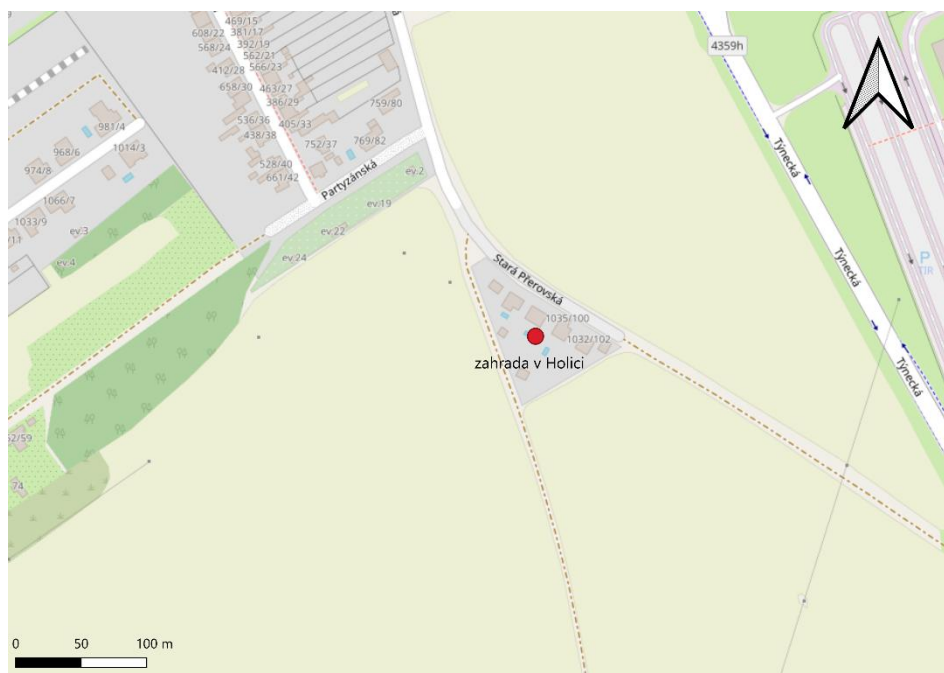


Obrázek 4: Sběrná lokalita Mřsklesy (Zdroj: Zpracováno pomocí QGIS 3.34, podkladová data © Přispěvatelé OpenStreetMap).

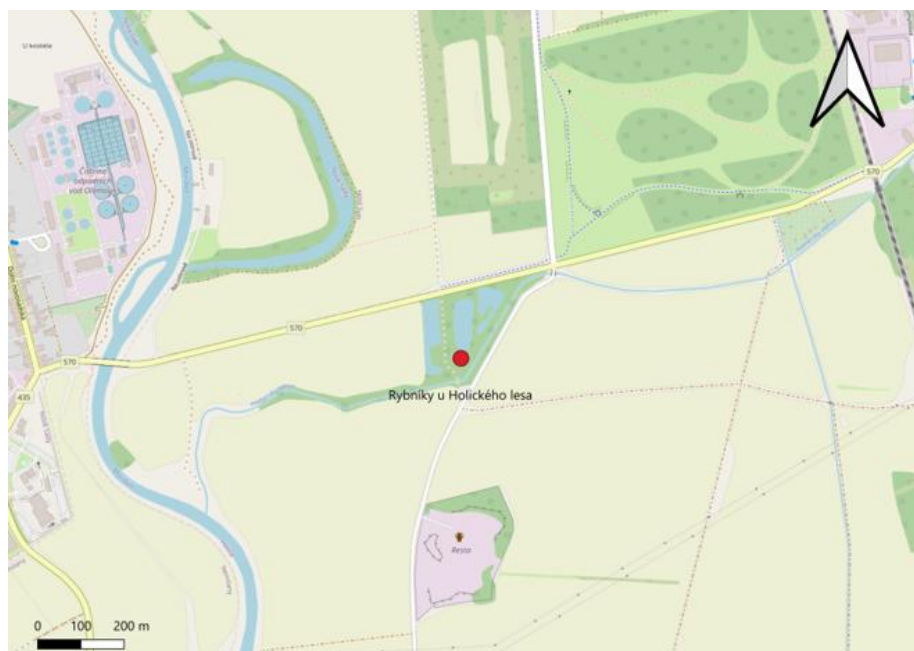
Soukromé zahrady v Holici (49°33'56.6" N, 17°18'05.1" E): Tato kategorie reprezentuje specifická synantropní stanoviště v příměstské krajině (obr. 5). Biotopy se vyznačují pestrými mozaikami substrátů (komposty, mulčovací kůra, zahradní zemina) a přítomností umělých i přirozených úkrytů, jako jsou cihly, stavební materiál či staré ovocné sady s tlejícím dřevem. Na těchto lokalitách se běžně vyskytují specifická společenstva bezobratlých, která jsou dobře přizpůsobena lidské činnosti a v antropogenním prostředí často dosahují vysoké početnosti.

Rybník u Holického lesa (Olomouc-Holice; 49°33'48.7" N, 17°16'36.2" E): Sběrná lokalita se nachází v rovinatém terénu na okraji městské části Olomouc-Holice v nadmořské výšce cca 210 m n. m. (obr. 6). Biotop je charakterizován jako ekotonální lem stojaté vodní nádrže obklopený mokřadní a lužní vegetací s dominancí listnatých dřevin jako je dub zimní nebo vrba bílá. Blízkost vodní hladiny zajišťuje permanentně vysokou vzdušnou i půdní vlhkost. Významným ekologickým faktorem na této lokalitě je vysoká abundance mrtvého dřeva v podobě padlých tlejících kmenů a větví v různém stupni rozkladu.

Tyto ležící dřevní struktury spolu s vlhkým listovým opadem vytvářejí ideální mikrohabitaty (tzv. podkorové a lignifilní úkryty) s optimálním mikroklimatem pro stabilní výskyt půdní makrofauny.



Obrázek 5: Sběrná lokalita Olomouc-Holice Zdroj: Zpracováno pomocí QGIS 3.34, podkladová data © Přispěvatelé OpenStreetMap).



Obrázek 6: Mapa sběrné lokality rybníky u Holického lesa Zdroj: Zpracováno v QGIS 3.34, podkladová data © Přispěvatelé OpenStreetMap).

3.3 Experiment s barevným světlem a uspořádání arén

Experimenty byly realizovány v domácím prostředí v plastových boxech o rozměrech 25 × 33 cm. Aby se eliminovalo riziko světelné interference z vedlejších boxů, byly všechny boxy po obvodu obaleny černou strečovou fólií. Horní strana boxů zůstala otevřená pro zajištění nepřerušného kamerového záznamu. Nad arénami byla fixována digitální kamera TP-Link Tapo C520 (obr. 7).



Obrázek 7: Celkové uspořádání boxů s kamerovým systémem TP-Link Tapo C520.

Před samotným hlavním měřením proběhlo v březnu 2026 pilotní testování v laboratorním prostředí. Na základě jeho výsledků byla metodika upravena – byl odstraněn papírový podklad, pod který se jedinci schovávali z důvodu silné thigmotaxe, a celá sestava byla přesunuta do uzavřené temné komory v domácím prostředí. U citlivého druhu plochule (*Polydesmus inconstans*), nasazeného během pilotní fáze, vedla kombinace stresu a ukrývání pod papírem k desikaci a následném uhynutí. Z etických důvodů a pro zachování homogenity dat byl tento druh z dalších testů vyřazen. Vlastní finální experimenty, ze kterých pocházejí vyhodnocovaná data, proběhly v červenci 2026 a hodnocen byl výhradně druh oblanka sídelní (*Cylindroiulus caeruleocinctus*).

Jako světelné stimuly byly použity chemické svítící tyčinky (glow stick) připevněné do rohu arény. Testovány byly barevné varianty (modrá, žlutá, bílá) a kontrolní va-

rianta obsahující neaktivovanou (nesvítící) tyčinku pro odlišení reakce na pouhou fyzickou přítomnost objektu. S ohledem na přirozenou noční aktivitu mnohonožek probíhalo testování vždy večer nejdříve od 22:00 hodin. Arény se nacházely ve skříni, která v průběhu experimentu byla zcela uzavřena, aby nepronikalo vedlejší světlo z prostředí.

Do každé z arén bylo náhodně vypuštěno 15 oblanek z chovu. Celkem bylo provedeno 21 plnohodnotných pokusů. Při každém opakování byli testovaní jedinci vyměněni za nové, aby se předešlo nadměrnému stresu a pseudoreplikacím výsledků. Po ukončení pokusu byli již testovaní jedinci izolováni v karanténním teráriu, čímž bylo zamezeno jejich opětovnému nasazení do pokusu. V jednotlivých opakováních se střídaly barvy.

Tento typ světelného stimulu byl pro experiment klíčový z etologického i fyzikálního hlediska: chemická reakce generuje výhradně studené světlo. Tím byl stoprocentně eliminován termální faktor (produkce tepla), který doprovází použití běžných LED diod nebo žárovek. Tento faktor by mohl výrazně zkreslit chování půdních bezobratlých, neboť často vyvolává únikové reakce způsobené lokálním vysycháním substrátu, nikoliv světlem samotným.

Různá barevná spektra (žlutá, bílá, modrá, fialová, červená a zelená) jsou u těchto tyčinek dosahována příměsí specifických fluorescenčních barviv (fluoroforů), přičemž každé barvivo po aktivaci emituje světlo o konkrétní vlnové délce. Tyčinky byly aktivovány pokaždé bezprostředně před startem každého pokusu, což zaručilo maximální a stabilní intenzitu svícení v první polovině noci, kdy je přirozená aktivita mnohonožek nejvyšší.

3.4 Statistické zpracování dat

Z videozáznamů byly v pravidelných časových intervalech pořizovány snímky obrazovky (snapshoty), které sloužily k následnému vyhodnocení prostorového rozložení jedinců v experimentální aréně. Snapshoty byly zaznamenávány v pravidelných 15minutových intervalech po celou dobu trvání pokusu (od 22:00 do 06:00 hodin) v průběhu celé doby experimentu, kde výhradně byly vyhodnocovány první 3 hodiny záznamu.

Pro hodnocení prostorové distribuce mnohonožek vzhledem ke světelnému stimulu byl vytvořen nulový model založený na simulaci Monte Carlo (500 000 iterací). Tento model simuloval náhodné rovnoměrné rozmístění odpovídajícího počtu jedinců v obdélníkovém boxu o rozměrech 25×33 cm. Pro každý časový odečet byl vypočítán

95% konfidenční interval (envelope) průměrných vzdáleností od zdroje stimulu očekávaný při náhodném rozmístění. Pomocí Monte Carlo testu byla vypočítána pravděpodobnost (p), že pozorovaná průměrná vzdálenost (průměr ze všech opakování v daném čase) nastala náhodou. Vzhledem k vysokému počtu testovaných časových bodů (12 odečtů pro každou variantu) byla provedena korekce p -hodnot na vícenásobné testování pomocí Holm-Bonferroniho metody, aby byla zachována rodinná chybovost (FWER) na hladině $\alpha = 0,05$.

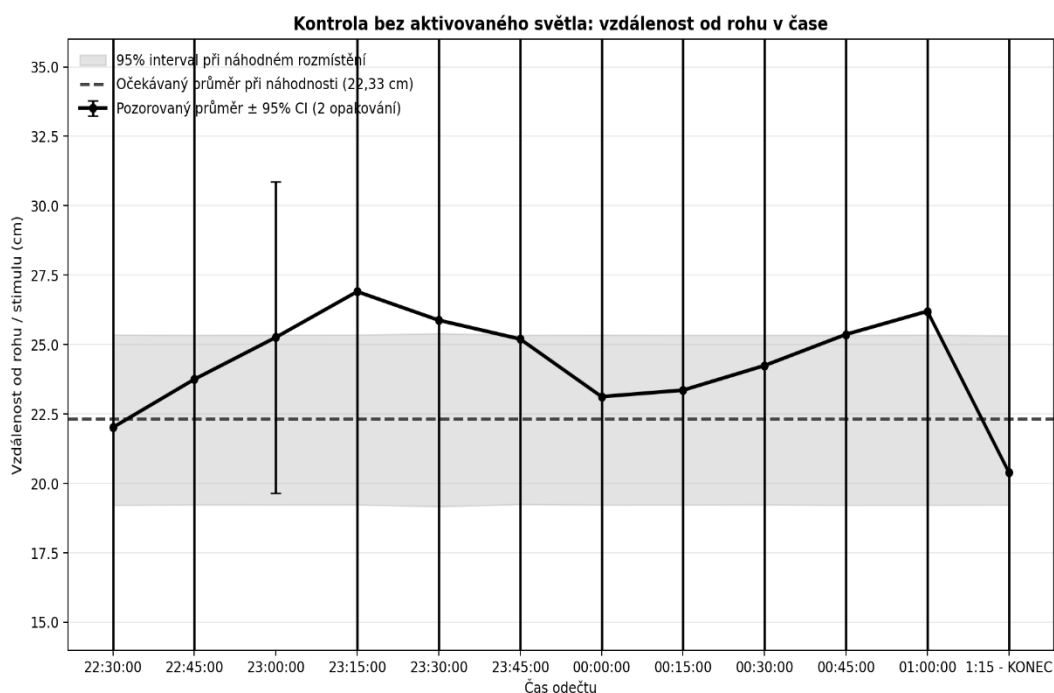
Pro posouzení stability chování mnohonožek v čase byl použit permutační Friedmanův test, který zohledňuje párovou povahu dat (opakovaná měření) a je vhodný i pro varianty s nižším počtem opakování. Případný časový trend byl hodnocen pomocí Spearmanova korelačního koeficientu (ρ) aplikovaného na průměrné vzdálenosti v čase. Veškeré výpočty byly provedeny v prostředí Python s využitím knihoven *scipy* a *numpy* a s využitím konzultací s chatovacím robotem GPT-5.6 Terra.

4. Výsledky

V experimentech byla zkoumána behaviorální reakce oblanky sídelní (*Cylindroiulus caeruleocinctus*) na různé barvy světelných stimulů i na neaktivovanou kontrolní variantu. V boxech byly umístěny svítící tyčinky a následně byla vyhodnocována přímá vzdálenost jedinců od světelného zdroje v čase.

4.1 Kontrolní varianta

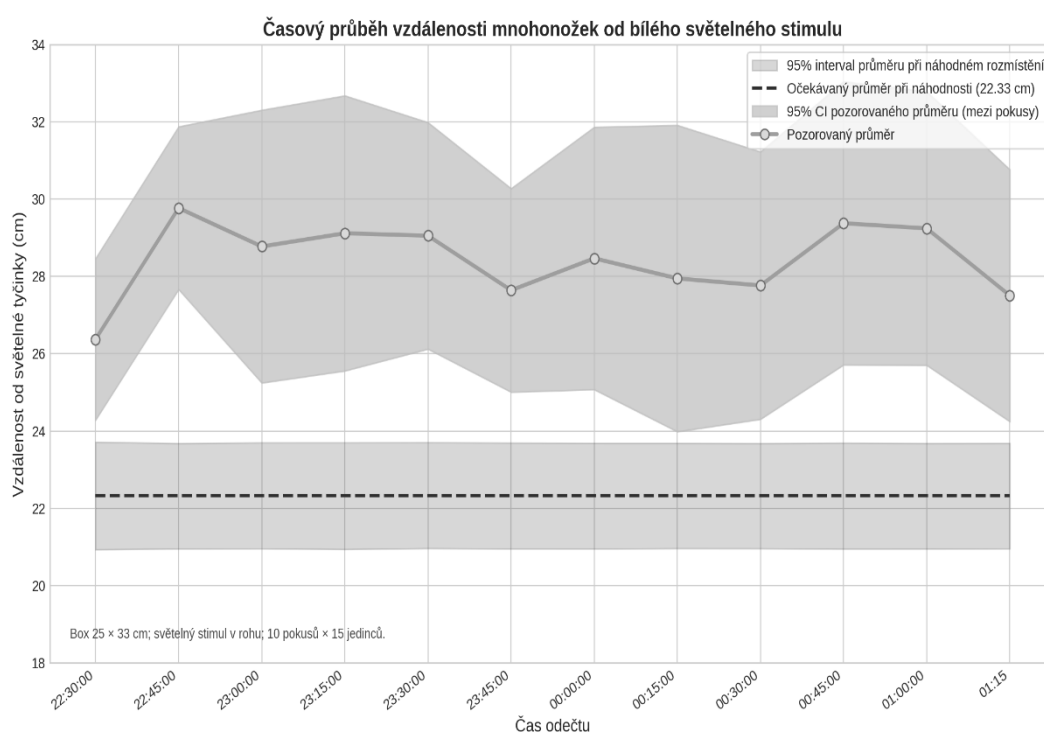
V kontrolních pozorováních bez aktivovaného světelného stimulu činila průměrná vzdálenost mnohonožek od odpovídajícího rohu boxu 24,31 cm, což bylo pouze mírně více než očekávaná hodnota při náhodném rozmístění (22,33 cm). Po Holmově korekci byla statisticky významně vyšší vzdálenost zjištěna pouze v jednom z dvanácti odečtů (v čase 23:15; $p_{\text{Holm}} = 0,0140$); v ostatních odečtech se distribuce od náhodného modelu průkazně nelišila. Kontrolní pokusy tedy neposkytují důkaz konzistentního vyhýbání se rohu boxu bez přítomnosti světelného stimulu. Rozdíly v distribuci mezi časovými odečty nebyly průkazné (permutační Friedmanův test: $Q = 6,92$; $p = 0,887$; obr. 8).



Obrázek 8: Časový průběh průměrné vzdálenosti mnohonožek od kontrolního neaktivovaného stimulu v rohu arény. Černá přerušovaná čára vyjadřuje očekávanou hodnotu při náhodném rozmístění (22,33 cm), šedá plocha představuje 95% interval spolehlivosti náhodného modelu.

4.2 Reakce na bílé světlo

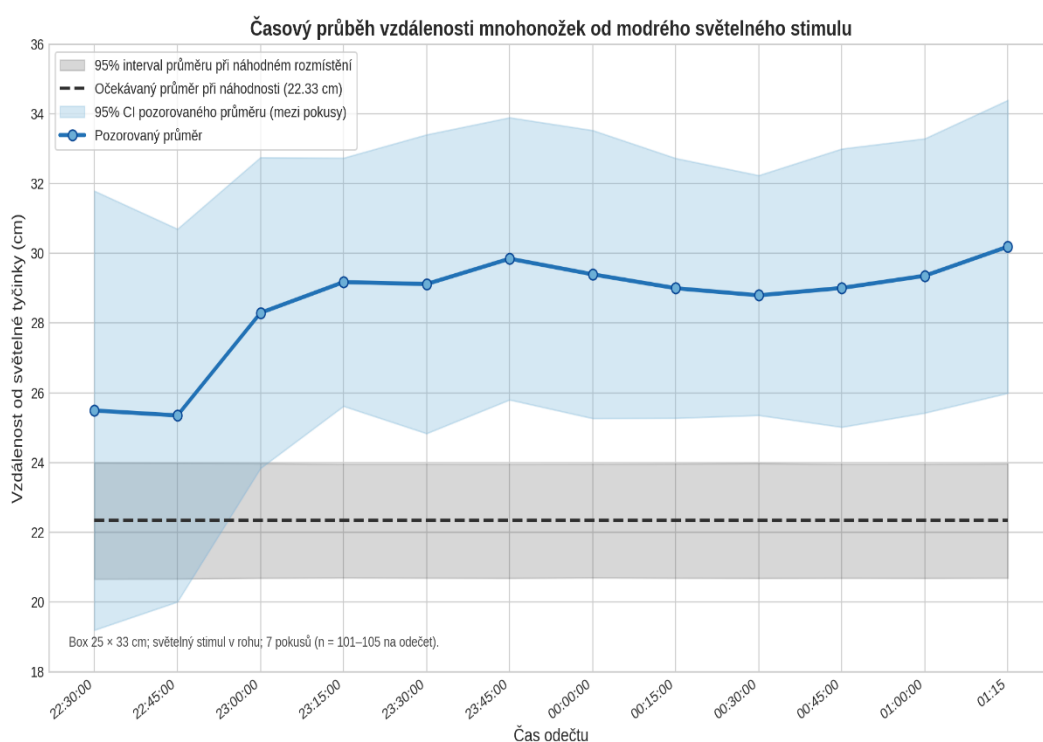
V boxu se vzdálenost mnohonožek od bílého světelného stimulu významně odchylovala od teoretického očekávání při náhodném rovnoměrném rozmístění. Monte Carlo simulace předpověděla průměrnou vzdálenost 22,32 cm, zatímco pozorované průměry se ve všech 12 odečtech pohybovaly výrazně výše, v rozmezí mezi 26,37 a 29,77 cm (ve všech případech po Holmově korekci $p < 0,0001$). Výsledky tedy ukazují silné a konzistentní vyhýbání se bílému světelnému stimulu. Průměrná vzdálenost se mezi odečty mírně lišila (Friedmanův test: $\chi^2 = 21,01$; $p = 0,033$), avšak bez průkazného monotónního trendu v čase (obr. 9).



Obrázek 9: Časový průběh průměrné vzdálenosti mnohonožek od zdroje bílého světelného stimulu. Plná plošná křivka představuje pozorovaný průměr s 95 % intervalem spolehlivosti (mezi pokusy); přerušovaná čára a šedé pásmo značí teoretické náhodné rozmístění.

4.3 Reakce na modré světlo

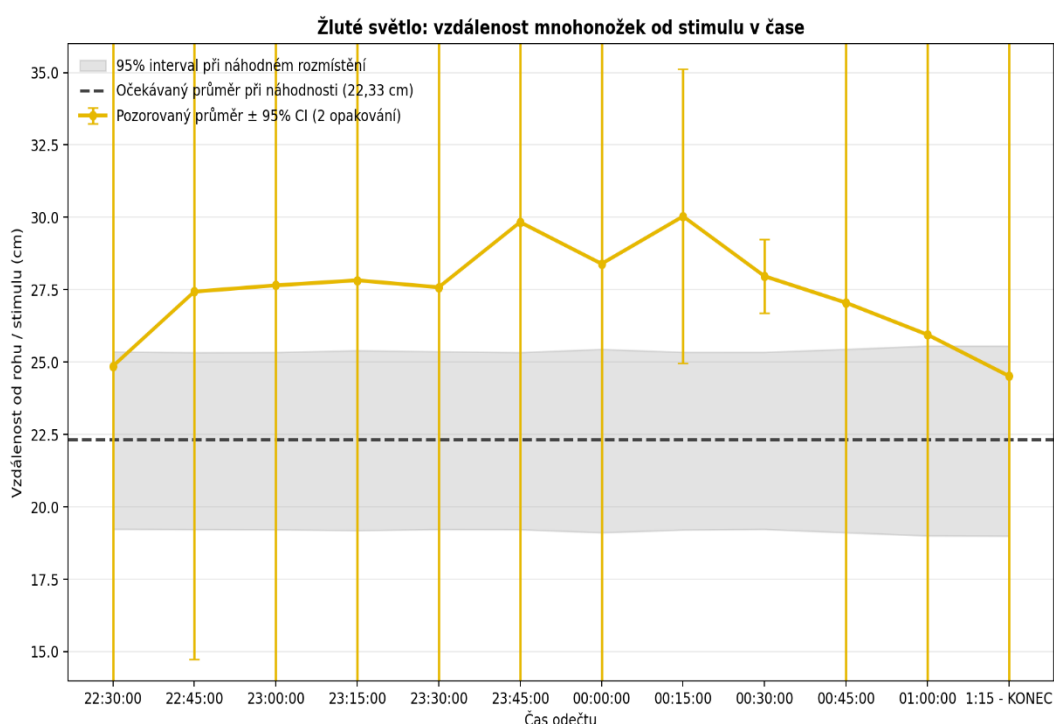
V experimentu s modrým světelným stimulem byla distribuce mnohonožek rovněž významně odlišná od náhodného rozmístění. Při očekávané průměrné vzdálenosti 22,33 cm se pozorované průměrné vzdálenosti ve všech 12 odečtech pohybovaly od 25,35 do 30,19 cm. Ve všech časových bodech byly tyto hodnoty statisticky významně vyšší než teoretické hodnoty očekávané při náhodném rozmístění (po Holmově korekci $p \leq 0,00017$). Mnohonožky se modrému světlu konzistentně vyhybaly. Průměrná vzdálenost se mezi jednotlivými odečty v čase statisticky průkazně nelišila (Friedmanův test: $\chi^2 = 15,11$; $p = 0,177$; Obr. 10).



Obrázek 10: Časový průběh průměrné vzdálenosti mnohonožek od zdroje modrého světelného stimulu. Modrá křivka vyjadřuje pozorovaný průměr s 95% intervalem spolehlivosti; přerušovaná čára značí teoretické náhodné rozmístění.

4.4 Reakce na žluté světlo

V pokusech se žlutým světelným stimulem se mnohonožky ve většině odečtů nacházely dále od zdroje světla, než by odpovídalo náhodnému rozmístění v boxu. Očekávaná průměrná vzdálenost činila 22,33 cm, zatímco celkový pozorovaný průměr dosáhl 27,42 cm. Monte Carlo testy po Holmově korekci potvrdily významně vyšší vzdálenost v 9 z 12 odečtů ($p_{\text{Holm}} = 0,00004$ až $0,0417$). Výsledky ukazují na průkazné vyhýbání se žlutému světlu, ačkoliv tento efekt nebyl stejně silný ve všech časových bodech tak jako u bílé či modré barvy. Změny vzdálenosti mezi jednotlivými odečty v čase nebyly průkazné (permutační Friedmanův test: $Q = 10,08$; $p = 0,608$; obr. 11).



Obrázek 11: Časový průběh průměrné vzdálenosti mnohonožek od zdroje žlutého světelného stimulu. Žlutá křivka zobrazuje pozorovaný průměr ± 95 % CI ze dvou realizovaných opakování v porovnání s modelem náhodného rozmístění.

5. Diskuse

Předkládaná bakalářská práce měla za cíl otestovat a porovnat reakci dvou fylogeneticky i morfologicky odlišných řádů mnohonožek, kde na jedné straně jsou jedinci s vyvinutou zrakovou aparaturou (*Cylindroiulus caeruleocinctus*) a jedinci, kteří jsou naprosto slepé (*Polydesmus inconstans*) na světelné stimuly.

5.1 Dominance negativní fototaxe a preference temných zón

Hlavním zjištěním práce je, že mnohonožka oblanka sídelní (*Cylindroiulus caeruleocinctus*) vykazuje silně konzervovanou a konzistentní negativní fototaxi napříč testovaným světelným spektrem. Naměřené průměrné vzdálenosti u všech tří barevných stimulů (bílá, modrá, žlutá) se v průběhu celého tříhodinového sledování pohybovaly v rozmezí 25,35 až 30,19 cm, což bylo statisticky významně dále, než vyžadoval model náhodného rozmístění (22,33 cm).

Ačkoliv se jedinci od světla průkazně drželi dál, světelný stimul nepředstavoval neprostupnou bariéru. Na záznamu bylo patrné, že někteří jedinci během lokomotorické aktivity a prohledávání arény kolem světelného zdroje občas prošli. Světelný podnět však nefungoval jako atraktant – zvířata se u svítící tyčinky trvale nezastavovala ani v její blízkosti nevytvářela shluky, ale pokračovala v pohybu dál do tmavších částí boxu.

Významným fenoménem pozorovaným napříč všemi opakováním se světelnými stimuly byla tvorba stabilních agregací v odlehlých rozích arény. Po počáteční explorativní fázi se většina jedinců přesunula do prostorově nejvzdálenějších rohů od světelného zdroje, kde následně zůstávala shluknutá po většinu sledovaného času. Přestože byly v aréně umístěny malé dřevěné odštěpky a větvičky představující standardizované přírodní úkryty, mnohonožky je téměř nevyužívaly a přednostně vyhledávaly právě rohy boxu.

Tento projev je dán synergickým působením dvou základních etologických mechanismů: negativní fototaxe a silné pozitivní thigmotaxe (Cloudsley-Thompson 1951). Pohyb podél stěn arény (tzv. rohový efekt) vedl k orientaci zvířat do rohů, kde v důsledku nízké thigmokineze v tmavém prostředí výrazně snížila svou lokomotorickou aktivitu a zastavila se (Fraenkel a Gunn 1961). Následná agregace jedinců na jednom místě navíc plní adaptivní funkci – vzájemný těsný kontakt snižuje odpařovací plochu těla a chrání mnohonožky před nadměrnou ztrátou tělesné vlhkosti v aréně (Broly et al. 2014).

5.2 Vliv vlnové délky světla na stálost reakce

Výsledky kontrolních pokusů s neaktivovanou tyčinkou (kde se průměrná vzdálenost 24,31 cm statisticky nelišila od náhodného modelu v 11 z 12 časových bodů) jednoznačně potvrdily, že klíčovým spouštěčem vyhýbání byla právě světelný podnět, nikoli fyzická přítomnost objektu v rohu.

Při srovnání jednotlivých barevných stimulů byly zaznamenány drobné rozdíly v intenzitě odpovídavosti:

- **Bílé a modré světlo:** Vyvolalo nejsilnější fotofobní reakci. U obou stimulů bylo vyhýbání statisticky významné ve všech 12 měřených časových bodech. Kratší vlnové délky (modré záření) představují pro bezobratlé biologicky vysoce účinný podnět, který spouští výraznější únikové či ortokinetické reakce (Briscoe a Chittka 2001). U modrého světla navíc docházelo v průběhu času k mírnému nárůstu průměrné vzdálenosti (z 25,48 cm na počátku až na 30,19 cm v závěru), což naznačuje postupnou stabilizaci jedinců v nejvzdálenějších stinných částech arény.
- **Žluté světlo:** Reakce na dlouhovlnné žluté světlo vykazovala rovněž celkový průměrný odstup (27,42 cm), avšak statistická průkaznost vůči náhodnému modelu byla potvrzena v 9 z 12 odečtů. Žlutá složka spektra tedy představuje pro mnohonozky méně dráždivý podnět než modrá či bílá barva, přesto je však vnímána dostatečně intenzivně na to, aby vyvolala průkaznou fotofobní reakci.

Z hlediska antropogenního tlaku a problematiky světelného znečištění (ALAN) tyto výsledky naznačují, že masivní přechod veřejného osvětlení na širokospektrální bílé a modré LED technologie představuje pro epigeické půdní společenstva vyšší selekční tlak než starší typy sodíkových výbojek se žlutým spektrem (Gaston et al. 2013; van Koppenhagen 2025).

5.3 Stabilita chování v čase a absence časového trendu

Výsledky permutačního Friedmanova testu neprokázaly u žádné z testovaných variant (s výjimkou mírné variace u bílého světla) statisticky významný časový trend či habituaci na světelný stimul. Mnohonozky neprojevovaly v průběhu tří hodin známky adaptace na přítomnost světla, které by vedly k postupnému návratu do blízkosti stimulu. Reakce vyhýbání tak zůstala po celou dobu trvání pokusu stabilní.

5.4 Orientační pozorování u plochule

Doplňkovým a metodicky významným prvkem výzkumu bylo orientační otestování plochule příměstské (*Polydesmus inconstans*). Všichni zástupci řádu Polydesmida sekundárně postrádají jakékoli zrakové orgány (ocelli) (Enghoff et al. 2015). Cílem původního zařazení tohoto druhu bylo ověřit jejich prostorovou reakci na světelnou tyčinku v testovacích arénách.

Pilotní testování s aktivovaným světelným stimulem však odhalilo extrémní náchylnost tohoto druhu k desikaci v prostředí testovacích boxů. Jedinci vykazovali neustálou a nesměrovanou pohybovou aktivitu napříč celou arénou – pobíhali zmateně jak v blízkosti světelné tyčinky, tak mimo ni, aniž by vykazovali jakýkoli usměrněný trend vyhýbání se světlu či vyhledávání stínu. Toto kontinuální pobíhání bylo projevem silného desikačního stresu a panické snahy vyhledat vlhký mikroklimatický úkryt. Vzhledem k absenci vlhkého substrátu v otevřené aréně však u testovaných jedinců docházelo k fatálnímu vyschnutí a uhynutí.

Z etických i metodických důvodů byl druh *Polydesmus inconstans* z dalších opakováních kompletně vyřazen a nebyl zahrnut do finálního statistického vyhodnocení. Toto pozorování nicméně přineslo doplňující poznatek: u mikroklimaticky citlivých a bezokých půdních druhů představuje vlhkost substrátu a vzduchu absolutně primární limitující faktor, který v laboratorních podmínkách i domácích zcela přebíjí jakékoli případné reakce na světelné stimuly (Marx et al. 2012).

6. Závěr

Tato bakalářská práce se věnovala etologickému hodnocení prostorové distribuce a reakcí mnohonožky oblanky sídelní na různé monochromatické a širokospektrální světelné stimuly v laboratorních podmínkách. Kombinace vyhodnocení videozáznamů, simulací nulového modelu Monte Carlo a navazujícího statistického vyhodnocení umožnila kvantifikovat chování tohoto významného zástupce naší fauny.

Výsledky výzkumu jednoznačně potvrdily přítomnost statisticky významné a stále negativní fototaxe u oblanky vůči všem testovaným světelným stimulům. Naměřené průměrné vzdálenosti jedinců od světelného zdroje se v průběhu sledování pohybovaly v rozmezí 25,35 až 30,19 cm, což bylo ve všech časových bodech průkazně více než očekávané hodnoty získané ze simulace náhodného rozmístění (22,33 cm). Kontrolní varianta s neaktivovaným světelným zdrojem přitom žádnou vyhýbavou reakci nevyvolala.

Zároveň byl prokázán zásadní vliv spektrálního složení světla na stálost behaviorální odpovědi. Krátkovlnné modré a širokospektrální bílé světlo indukovalo plně konzistentní fotofobní reakci po celou dobu tříhodinového sledování. Naproti tomu dlouhovlnnější žluté světlo vyvolalo sice signifikantní odtahení, avšak pouze v 75 % sledovaných časových bodů, což naznačuje nižší citlivost fotoreceptorů mnohonožek k delším vlnovým délkám.

V prostoru testovacích boxů byla dále pozorována výrazná dominance prostorového uspořádání nad přítomností strukturovaných prvků. Po počáteční explorativní fázi vyhledávali jedinci přednostně rohy arény, kde vytvářeli trvalé agregace. Tento jev je důsledkem synergického působení negativní fototaxe a pozitivní thigmotaxe (tzv. rohového efektu), přičemž umístění dřevěné větvičky mnohonožky jako úkryt téměř nevyužívaly. Orientační testování slepého druhu plochule příměstské navíc ukázalo, že u mikroklimaticky citlivých půdních druhů představuje desikační stres absolutně primární limitující faktor, který v nekrytém prostředí zcela přebíjí případné reakce na světelnou stimulaci.

Získané poznatky přispívají k pochopení smyslové ekologie epigeických bezobratlých. Výsledky poukazují na ekologický přesah umělého osvětlení v noci (ALAN) – přechod na chladně bílé a modré LED zdroje představuje pro světloplachou půdní faunu vyšší selekční tlak než tradiční žluté sodíkové výbojky. Použitou metodiku lze využít i v navazujícím výzkumu zaměřeném na reakce fauny vůči dalším typům osvětlení, odlišným spektrům či dynamicky se měnící intenzitě světla.

7. Literatura

- Ahmed, N. & Al-Mutairi, K. (2022): Earthworms effect on microbial population and soil fertility as well as their interaction with agriculture practices. *Sustainability*, 14(13): 7803. <https://doi.org/10.3390/su14137803>.
- Boccardo, L., & Penteado, C.H. (1995): Locomotor and metabolic activities of *Gymnastreptus olivaceus* (Diplopoda, Spirostreptida) at different photoperiod conditions. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 112, 611-617. [https://doi.org/10.1016/0300-9629\(95\)02034-9](https://doi.org/10.1016/0300-9629(95)02034-9).
- Brewer, M. S., Sierwald, P. & Bond, J. E. (2012): Millipede taxonomy after 250 years: Classification and taxonomic practices in a mega-diverse yet understudied arthropod group. *PLoS ONE*, 7(5): e37240. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0037240>.
- Briscoe, A. D., & Chittka, L. (2001): The evolution of color vision in insects. *Annual review of entomology*, 46, 471–510. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.46.1.471>.
- Brodrick, E. & Jékely, G. (2023): Photobehaviours guided by simple photoreceptor systems. *Animal Cognition*, 26(6): 1817–1835. <https://doi.org/10.1007/s10071-023-01818-6>.
- Broly, P., Devigne, L., Deneubourg, J.-L. & Devigne, C. (2014): Effects of group size on aggregation against desiccation in woodlice (Isopoda: Oniscidea). *Physiological Entomology*, 39(2): 165–171. <https://doi.org/10.1111/phen.12060>.
- Cloudsley-Thompson, J. L. (1951): On the responses to environmental stimuli, and the sensory physiology of Millipedes (Diplopoda). *Proceedings of the Zoological Society of London*, 121: 253-277. <https://doi.org/10.1111/j.1096-3642.1951.tb00795.x>.
- Cloudsley-Thompson, J. L. (1960): Adaptive functions of circadian rhythms. *Cold Spring Harbor symposia on quantitative biology*, 25, 345–355. <https://doi.org/10.1101/sqb.1960.025.01.035>.
- Dangerfield, J.M. & Chipfunde, L. (1995): Stress tolerance and burrowing behaviour in the southern African millipede *Alloporus uncinates*. *Journal of Zoology*, 236: 17-27. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.1995.tb01781.x>.
- David, J.-F. & Coulis, M. (2015): Millipedes faced with drought: the life cycle of a Mediterranean population of *Ommatoiulus sabulosus* (Linnaeus) (Diplopoda, Julida, Julidae). *ZooKeys*, 510: 115–124. <https://doi.org/10.3897/zookeys.510.8838>.
- David, J.-F. & Handa, I. T. (2010): The ecology of saprophagous macroarthropods (millipedes, woodlice) in the context of global change. *Biological Reviews*, 85(4): 881–895. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2010.00138.x>.
- David, J.-F. (2014): The role of litter-feeding macroarthropods in decomposition processes: A reappraisal of common views. *Soil Biology and Biochemistry*, 76: 109–118. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.05.009>.

- David, J.-F., Geoffroy, J.-J. & Célérier, M.-L. (2003): First evidence for photoperiodic regulation of the life cycle in a millipede species, *Polydesmus angustus* (Diplopoda: Polydesmidae). *Journal of Zoology*, 260(2): 111–116. <https://doi.org/10.1017/S0952836903003704>.
- Enghoff, H., Golovatch, S. I., Short, M., Stoev, P. & Wesener, T. (2015): Diplopoda – taxonomic overview. In: Minelli, A. (ed.): *Treatise on Zoology – Anatomy, Taxonomy, Biology. The Myriapoda, Volume 2*. Brill, Leiden, s. 363–453.
- Falchi, F., Cinzano, P., Duriscoe, D., Kyba, C. C. M., Elvidge, C. D., Baugh, K., Portnov, B. A., Rybnikova, N. A. & Furgoni, R. (2016): The new world atlas of artificial night sky brightness. *Science Advances*, 2(6): e1600377. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1600377>.
- Fraenkel, G. S. & Gunn, D. L. (1961): *The Orientation of Animals: Kineses, Taxes and Compass Reactions*. Dover Publications, New York, 376 s.
- Garcia, A., Krummel, G., & Priya, S. (2020): Fundamental understanding of millipede morphology and locomotion dynamics. *Bioinspiration & biomimetics*, 16(2). 026003. <https://doi.org/10.1088/1748-3190/abbdec>.
- Gaston, K. J., Davies, T. W., Nedelec, S. L. & Holt, L. A. (2017): Impacts of artificial light at night on biological timings. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 48: 49–68. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110316-022745>.
- Gerlach, J., Samways, M. & Pryke, J. (2013): Terrestrial invertebrates as bioindicators: an overview of available taxonomic groups. *Journal of Insect Conservation*, 17(4): 831–850. <https://doi.org/10.1007/s10841-013-9565-9>.
- Golovatch, S. I. & Kime, R. D. (2009): Millipede (Diplopoda) distributions: A review. *Soil Organisms*, 81(3), 565–597. <https://www.soil-organisms.org/SO/article/view/210>.
- González, G., Murphy, C. & Belén, J. (2012): Direct and Indirect Effects of Millipedes on the Decay of Litter of Varying Lignin Content. In: Sudarshana, P., Nageswara-Rao, M. & Soneji, J. R. (eds.): *Tropical Forests*. InTech. <https://doi.org/10.5772/32816>.
- Grinvald, M. & Tuf, I. H. (2026): Stand age and litter shape myriapod communities in a forest mosaic (Diplopoda, Chilopoda). *Forests*, 17(1): 127. <https://doi.org/10.3390/f17010127>.
- Haddock, S. H., Moline, M. A., & Case, J. F. (2010): Bioluminescence in the sea. *Annual review of marine science*, 2, 443–493. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-120308-081028>.
- Hopkin, S. P. & Read, H. J. (1992): *The Biology of Millipedes*. Oxford University Press, Oxford, 233 s.
- Chevalier, D. (2025): *Lights, camera, attraction? Effects of artificial light at night on arthropods*. University of British Columbia. Dostupné z: <https://open.library.ubc.ca/collections/ubctheses/24/items/1.0447859>.
- Jangir, P. & Prasad, A. (2023): Bioluminescence in insects. *Everyman's Science*, 56(3-4). <https://doi.org/10.59094/emsj.v56i3-4.39>.

Jékely, G. (2009): Evolution of phototaxis. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 12 October 2009; 364 (1531): 2795–2808. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0072>.

Kania, G. & Kłapeć, T. (2012): Seasonal activity of millipedes (Diplopoda) – their economic and medical significance. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 19(4): 646–650.

Kirwan, J. & Nilsson, D.-E. (2019): A millipede compound eye mediating low-resolution vision. *Vision Research*, 165: 36–44.

Kocourek, P., Dolejš, P. & Kovaříková, A. (2023): *Atlas rozšíření mnohonožek v České republice*. Národní muzeum, Praha, 180 s.

Kocourek, P., Tajovský, K. & Dolejš, P. (2017): *Mnohonožky České republiky*. Český svaz ochránců přírody Vlašim, Vlašim, 224 s.

Longcore, T. & Rich, C. (2004): Ecological light pollution. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2(4): 191–198.
[https://doi.org/10.1890/15409295\(2004\)002\[0191:ELP\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/15409295(2004)002[0191:ELP]2.0.CO;2).

Marek, P. (2017): Ultraviolet-induced fluorescent imaging for millipede taxonomy. *Research Ideas and Outcomes*, 3: e14850. <https://doi.org/10.3897/rio.3.e14850>.

Marek, P., Papaj, D., Yeager, J., Molina, S. & Moore, W. (2011): Bioluminescent aposematism in millipedes. *Current Biology*, 21(18): R680–R681.
<https://doi.org/10.1016/j.cub.2011.08.012>.

Marx, M. T., Guhmann, P., & Decker, P. (2012): Adaptations and Predispositions of Different Middle European Arthropod Taxa (Collembola, Araneae, Chilopoda, Diplopoda) to Flooding and Drought Conditions. *Animals*, 2(4), 564–590.
<https://doi.org/10.3390/ani2040564>.

McKillup, S.C. (1988): Behaviour of the millipedes *Ommatoiulus moreletii*, *Ophiulus verruculiger* and *Oncocladosoma castaneum* in response to visible light; an explanation for the invasion of houses by *Ommatoiulus moreletii*. *Journal of Zoology*, 215: 35–46.
<https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.1988.tb04883.x>

Meyer-Rochow, V. B. (2015): New observations – with older ones reviewed – on mass migrations in millipedes based on a recent outbreak on Hachijojima (Izu Islands) of the polydesmid diplopod (*Chamberlinius hualienensis*, Wang 1956): Nothing appears to make much sense. *Zoological Research*, 36(3): 119–132.

Minelli, A. (Ed.). (2015): *Treatise on zoology—Anatomy, taxonomy, biology. The myriapoda: Volume 2*. Brill

Moritz, L. & Koch, M. (2020): No Tömösváry organ in flat backed millipedes (Diplopoda, Polydesmida). *ZooKeys*. 930. 103–115. <https://doi.org/10.3897/zookeys.930.48438>.

Musio, C. & Santillo, S. (2009): Non-visual photoreception in invertebrates [online]. In: Smith, K. C. & Lee, J. L. (eds.): *Photobiological Sciences Online*. American Society for Photobiology [cit. 2026-07-24]. Dostupné z: <https://www.photobiology.info/Musio.html>.

- Neuhauser, E. F. & Hartenstein, R. (1978): Phenolic content and palatability of leaves and wood to soil isopods and diplopods. *Pedobiologia*, 18(2): 99–109. [https://doi.org/10.1016/S0031-4056\(23\)00572-3](https://doi.org/10.1016/S0031-4056(23)00572-3).
- Nweze, J. E., Gupta, S., Salcher, M. M., Šustr, V., Horváthová, T., & Angel, R. (2024): Disruption of millipede-gut microbiota in *E. pulchripes* and *G. connexa* highlights the limited role of litter fermentation and the importance of litter-associated microbes for nutrition. *Communications biology*, 7(1), 1204. <https://doi.org/10.1038/s42003-024-06821-2>.
- Owens, A. C. S., & Lewis, S. M. (2018): The impact of artificial light at night on nocturnal insects: A review and synthesis. *Ecology and evolution*, 8(22), 11337–11358. <https://doi.org/10.1002/ece3.4557>
- Patne, Y., Achegawe, R., Baisthakur, P. & Barde, R. (2024): Millipedes as ecosystem engineers: Their role in nutrient cycling, soil health and biotechnological significance. *International Journal of Entomology Research*, 9(4): 168–176.
- Randel, N., & Jékely, G. (2016). Phototaxis and the origin of visual eyes. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 371(1685), 20150042. <https://doi.org/10.1098/rstb.2015.0042>.
- Rouified, S., Handa, I. T., David, J. F., & Hättenschwiler, S. (2010). The importance of biotic factors in predicting global change effects on decomposition of temperate forest leaf litter. *Oecologia*, 163(1), 247–256. <https://doi.org/10.1007/s00442-009-1528-1>.
- Shear, W. (2015): The chemical defenses of millipedes (diplopoda): Biochemistry, physiology and ecology. *Biochemical Systematics and Ecology*, 61: 78–117. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2015.04.033>.
- Sierwald, P. & Bond, J. E. (2007): Current Status of the Myriapod Class Diplopoda (Millipedes): Taxonomic Diversity and Phylogeny. *Annual Review of Entomology*, 52(1): 401–420. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.52.111805.090210>.
- Sikorová E. 2024. *Mnohonožky jako nežádoucí návštěvníci* [diplomová práce]. [Olomouc (CZ)]: Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta. [cit. 2026-08-04]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/4qgtri/>.
- Spoelstra K, Teurlinx S, Courbois M, Hopkins ZM, Visser ME, Jones TM, Hopkins GR. 2023 Long-term exposure to experimental light affects the ground-dwelling invertebrate community, independent of light spectra. *Phil. Trans. R. Soc. B* 378: 20220364. <https://doi.org/10.1098/rstb.2022.0364>.
- Spoelstra, K., Teurlinx, S., Courbois, M., Hopkins, Z. M., Visser, M. E., Jones, T. M. & Hopkins, G. R. (2023): Long-term exposure to experimental light affects the ground-dwelling invertebrate community, independent of light spectra. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 378(1887): 20220364. <https://doi.org/10.1098/rstb.2022.0364>.
- Stašiov, S., Hazuchová, L., Vician, V., Kočík, K. & Svitok, M. (2014): Millipede (Diplopoda) Communities in Agricultural Landscape: Influence of Management Form. *Polish Journal of Ecology*, 62(3): 587–598. <https://doi.org/10.3161/104.062.0301>.

- Stašiov, S., Stašiová, A., Svitok, M. *et al.* Millipede (Diplopoda) communities in an arboretum: Influence of tree species and soil properties. *Biologia* 67, 945–952 (2012). <https://doi.org/10.2478/s11756-012-0097-7>.
- Stašiov, S., Vician, V., Benčať, T., Pätoprstý, V., Lukáčik, I. & Svitok, M. (2021): Influence of soil properties on millipede (Diplopoda) communities in forest stands of various tree species. *Acta Oecologica*, 113: 103793. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2021.103793>.
- Steven, D.M. (1963): The dermal light sense. *Biological Reviews*, 38: 204–240. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.1963.tb00783.x>.
- Suriel, C., Bueno-Villegas, J., & Jauregui-Haza, U. J. (2025). Population Density and Diversity of Millipedes in Four Habitat Classes: Comparison Concerning Vegetation Type and Soil Characteristics. *Ecologies*, 6(3), 55. <https://doi.org/10.3390/ecologies6030055>.
- Timmenga, H. J. (1987). *The transport of mineral and organic matter into the soil profile by Lumbricus rubellus Hoffmeister*. University of British Columbia. Retrieved from <https://open.library.ubc.ca/collections/ubctheses/831/items/1.0097513>
- Tuf I. H. (2013): *Půdní fauna* [habilitační práce]. [Olomouc (CZ)]: Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta. Dostupné z: upol.cz
- Tuf, I. H., Čmielová, L. & Šipoš, J. (2016): Conglobation as a defensive behaviour of pill millipedes (Diplopoda: Glomerida). *Acta Societatis Zoologicae Bohemicae*, 80(1): 39–44.
- Tuf, I. H., Tufová, J., Jeřábková, E. & Dedek, P. (2006): Diurnal epigeic activity of myriapods (Chilopoda, Diplopoda). *Norwegian Journal of Entomology*, 53(2): 335–344.
- Van Koppenhagen N. (2025): *Ecological impacts of artificial light at night on arthropod communities* [doctoral thesis]. [Zürich (CH)]: ETH Zurich. Dostupné z: <https://doi.org/10.3929/ethz-c-000789518>.
- Van Koppenhagen, N., Haller, J., Kappeler, J., Gossner, M. a Bolliger, J. (2024): LED streetlight characteristics alter the functional composition of ground-dwelling invertebrates. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.124209>.
- Webb, P. I. & Telford, S. R. (1995): Energy and water balance in the large sub-tropical millipede *Alloporus bilobatus* (Diplopoda: Spirostreptidae). *Journal of Insect Physiology*, 41(5): 389–393. [https://doi.org/10.1016/0022-1910\(94\)00129-5](https://doi.org/10.1016/0022-1910(94)00129-5).
- Wood, M. D., Hancocks, G., Barnett, C. L., Tysiac, P., Goulart, V. D. L. R., Teixeira, C. P., Zielinska-Dabkowska, K. M., Sikander, D., Castrop, E. & Klenke, R. (2026): Review of light and noise pollution impacts on terrestrial biodiversity and ecosystem services. PLAN-B project Deliverable 1.1, Horizon Europe No. 101135308.